



(51) Internationale Patentklassifikation 6 :  G01B 11/00		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/53269  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 21. Oktober 1999 (21.10.99)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/02570</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 10. April 1999 (10.04.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 16 272.3 11. April 1998 (11.04.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE/DE]; Siemensstrasse 19, D-35394 Giessen (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): CHRISTOPH, Ralf [DE/DE]; Taunusblick 2, D-35641 Schöffengrund (DE).</p> <p>(74) Anwalt: STOFFREGEN, Hans-Herbert; Friedrich-Ebert-Anlage 11b, D-63450 Hanau (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Mit geänderten Ansprüchen.</p>	
<p>(54) Titel: METHOD AND ARRANGEMENT FOR MEASURING THE STRUCTURES OF AN OBJECT</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR MESSUNG VON STRUKTUREN EINES OBJEKTS</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a method and an arrangement for measuring the structure of an object. The structure is scanned by touch, by means of a scanning element whose position is optically detected. The force produced after the contact between the scanning element and the object is determined and optionally adjusted to constant values.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung der Struktur eines Objekts. Die Struktur wird durch Berührung mit einem Tastelement abgetastet, dessen Position optisch bestimmt wird. Die nach der Berührung zwischen dem Tastelement und dem Objekt auftretende Kraft wird bestimmt und gegebenenfalls auf gleichbleibende Werte eingestellt.</p>			

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

### Verfahren und Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelements, wobei das Tastelement mit dem Objekt in Berührung gebracht und sodann seine Position unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem optischen Sensor bestimmt wird.

Eine Anordnung der vorstehend beschriebenen Art ist bereits bekannt (DE 297 10 242 U1) Bei dieser bekannten Anordnung wird die Oberflächentopographie eines Gegenstands bzw. Objekts mit einem Photogrammetriesystem und dem Tastelement gemessen. Das Tastelement, z. B. eine Kugel, ist am Ende eines elastischen Schafts angeordnet. Am Schaft können Zielmarken angebracht sein, deren Positionen ein relativ zu einem Tasterbezugssystem vom Photogrammetriesystem erfasst werden. Die Position des Tastelements wird z. B. aus den Zielmarkenpositionen bestimmt.

Bekannt ist auch ein Messsystem zur Erfassung der Oberflächentopographie von Gegenständen mit einem Messwertsender, der aus einem Taststift und einer Lichtquelle definierter Form an seinem Ende besteht. Die Lichtquelle wird längs der aufzunehmenden Kontur geführt. Bei diesem Verfahren erfasst ein optischer Empfänger die jeweilige Lage der einen Lichtfleck oder Lichtpunkt bildenden Lichtquelle in einem dreidimensio-

nalen kartesischen Koordinatensystem. Ein Rechner wertet die Messergebnisse aus. Die Lichtquelle hat als Verlängerung des Taststifts z. B. die Form einer konzentrisch eingefassten Glasfaser (DE 40 02 043 C2).

Es ist weiterhin ein Tastsystem für die Messung kleiner Strukturen bekannt, welches auf einem Schwingquarz basiert, der eine Glasfaser mit Antastelement anregt. Bei Berührung mit der Werkstückoberfläche wird die Dämpfung des Systems ausgewertet. Diese Technik ermöglicht zwar kleine Antastkräfte, ist jedoch mit einer relativ großen Ungenauigkeit (Messfehler 5 µm) behaftet.

Schließlich ist es bekannt, mittels eines Mikroskops die Position eines Tastelements zur Messung von Strukturen zu bestimmen, wobei gerätebedingt im Durchlichtverfahren gearbeitet werden muss, so dass allein Strukturen durchgehender Bohrungen oder sonstiger Durchbrechungen gemessen werden können.

Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung der Oberflächentopographie von Objekten zu entwickeln, mit denen beliebige Strukturen und Objekte mit unterschiedlichen Oberflächenhärten mit einer hohen Messgenauigkeit bestimmt werden können.

Das Problem wird bei einem Verfahren zur Messung von Strukturen eines Objekts mittels einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, das mit dem Objekt in Berührung gebracht und dessen Position sodann unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem Sensor bestimmt wird, erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Schaft mit Ausnahme einer freien, das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge innerhalb einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft und dass die nach der Berührung zwischen Tastelement und Objekt auftretende Antastkraft aus Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage bestimmt wird. Dabei wird insbesondere die Antastkraft auf einen an die

Gegebenheiten des Objektes angepaßten Wert durch Vorgabe der Biegelänge eingestellt. Dies kann durch Verschieben des Schaftes innerhalb der Führung erfolgen. Die so gewonnenen Werte der Antastkraft können bei sodann erfolgenden Messungen der Strukturen des Objektes berücksichtigt werden.

Die Antastkraft hat bei manchen Objekten einen wesentlichen Einfluss auf die Messergebnisse. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, die Antastkraft als Parameter der Messung den Gegebenheiten des Objekts wie der Oberflächentopographie und der Oberflächenhärte anzupassen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird die Antastkraft des Tastelements nach folgender Gleichung bestimmt:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

worin mit F die Antastkraft, mit E der Elastizitätsmodul des Schafts, mit I die wirksame Biegelänge des Schafts zwischen einer starren Führung und dem Tastelement, mit l das axiale Flächenmoment des Schafts und mit f die Auslenkung des Rastelements aus einer Ruhelage bezeichnet sind. Das Elastizitätsmodul, das axiale Flächen- bzw. Trägheitsmoment und die Länge sind durch die konstruktiven bzw. Materialeigenschaften der Vorrichtung vorgegeben und können zu einer Konstanten zusammengefasst werden. Damit ist die Antastkraft proportional der Auslenkung und kann schnell und ohne aufwendige Rechenoperationen und -zeiten bestimmt werden.

Gegebenenfalls kann der Schaft innerhalb der Führung verschoben werden, um die wirksame Biegelänge zu verändern. Losgelöst hiervon ist durch die starre Aufnahme des Schafts stets reproduzierbar sichergestellt, dass der Schaft eine definierte Biegelänge aufweist.

Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform wird die Antastkraft als Regelgröße in einem Regelkreis auf einem vorgebbaren, gleichbleibenden oder nahezu gleichbleibenden Wert eingestellt, wobei die Halterung von wenigstens einem motorischen Antrieb als Stellglied bewegbar ist. Die Antastkraft kann bei dieser Ausführungsform während der gesamten Messung einer Struktur auf einem vorgegebenen Wert gehalten werden. Für die Messung der Oberflächentopographie in drei Dimensionen ist es vielfach günstig, wenn die Halterung mit dem von ihr ausgehenden elastischen Schaft durch Antriebe in fünf Freiheitsgraden bewegt werden kann. Hierfür eignen sich numerische Regelkreise. Die Halterung ist insbesondere mit dem Einstellmechanismus für das optische System zu einer Einheit verbunden, die motorisch in fünf Freiheitsgraden verstellbar ist.

Es ist weiterhin vorteilhaft, wenn die Auslenkung des Tastelements mittels eines optischen Sensors gemessen wird, der den Unterschied zwischen der Stellung des Tastelements in dessen Ruhelage und der Stellung des Tastelements bei Berührung mit der Oberfläche des Objekts erfasst. Der Sensor, der der gleiche wie für die Messung der Struktur ist, wird dabei zweckmäßigerweise gemeinsam mit der Halterung bewegt.

Die Position des Tastelementes und/oder der zumindest einen Zielmarke wird insbesondere mittels reflektierender und/oder durch dieses bzw. diese abschattender und/oder von dem Tastelement bzw. der Zielmarke abstrahlender Strahlung optisch bestimmt. Zweckmäßigerweise ist die Tasterverlängerung bzw. der Schaft als Lichtleiter ausgebildet oder umfasst einen solchen, um über diesen dem Tastelement bzw. der Zielmarke das erforderliche Licht zuzuführen.

Auch besteht die Möglichkeit, dass das Tastelement und/oder die Zielmarke als selbstleuchtendes elektronisches Element wie LED ausgebildet ist oder ein solches umfasst.

Insbesondere zeichnet sich die Erfindung aus durch eine Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts mittels eines einem Koordinatenmesgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, das mit dem Objekt in Berührung

rung bringbar ist und dessen Position sodann unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem Sensor bestimmbar ist, wobei sich die Anordnung dadurch auszeichnet, dass der Schaft mit Ausnahme einer freien das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge in einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft. Hierdurch wird durch die wirksame Biegelänge definiert die Antastkraft vorgegeben, wodurch die Anordnung an die Gegebenheiten von Oberflächeneigenschaften des zu messenden Objektes anpassbar ist.

Insbesondere zeichnet sich die Anordnung dadurch aus, dass ein Sensor zur Messung der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage vorgesehen ist, dass der Schaft mit Ausnahme einer freien das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge in einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft, dass die Führung mit dem Schaft mit wenigstens einem motorischen Antrieb relativ zur Oberfläche des Objekts bewegbar ist und dass mit einer Auswerteinrichtung aus der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus der Ruhelage die Antastkraft bestimmbar ist. Mit dieser Vorrichtung lässt sich die Antastkraft des Tastelementes an die Gegebenheiten der Oberflächeneigenschaften des Objekts anpassen. Beispielsweise kann die Antastkraft so auf die Härteeigenschaften der Oberfläche abgestimmt werden, dass eine möglichst hohe Messgenauigkeit erzielt wird. Dabei besteht die Möglichkeit, dass der Schaft innerhalb der Führung verschiebbar angeordnet ist.

Insbesondere bestimmt die Anordnung die Antastkraft aus dem Messwert der Auslenkung des Tastelements nach folgender Gleichung:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

worin mit  $F$  die Antastkraft, mit  $f$  die Auslenkung, mit  $l$  die Länge des Schafts in seiner wirksamen Biegelänge, mit  $E$  der Elastizitätsmodul des Schafts und mit  $I$  das axiale

Flächenmoment des Schafts bezeichnet sind. Da in dieser Gleichung außer der Auslenkung  $f$  und der Antastkraft alle Größen konstant sind, kann die Auslenkung unter Berücksichtigung der Konstanten in der Einheit der Antastkraft geeicht werden.

Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform ist ein optisches System zur Erfassung der Auslenkung des Tastelementes oder der Zielmarke aus einer Ruhelage vorgesehen und zumindest mit dem Tastelement und dem Schaft als Einheit bewegbar. Mit dem System, mit dem insbesondere auch die Oberflächentopographie bestimmt wird, kann die Ruhelage des Tastelements bzw. der wenigstens einen Zielmarke oder mehrere Zielmarken bestimmt werden, wenn keine Berührung mit einem Objekt oder Gegenstand stattfindet. Die entsprechende geometrische Position des Tastelements oder der wenigstens einen Zielmarke kann gespeichert werden und bei Lageänderung des Systems entsprechend angepasst werden. Bei Berührung des Tastelements mit einer Objektoberfläche wird der Unterschied zwischen Ruhelage und Position bei Berührung erfasst, z. B. aus der Tastelementlage und der zugeordneten Ruhelage. Das optische System zur Erfassung der Auslenkung des Tastelements oder der Zielmarke ist insbesondere als Istwertgeber in einem Regelkreis angeordnet, dessen Regelgröße die Antastkraft ist und der als Stellglied mindestens einen motorischen Antrieb für die Bewegung der das Tastelement, den Schaft und den Sensor enthaltenden Einheit aufweist. Das Tastelement kann am Schaft durch Kleben, Schweißen oder sonstige geeignete Verbundsarten angebracht sein. Auch kann das Tastelement und/oder die Zielmarke ein Abschnitt der Tastverlängerung selbst sein.

Der Schaft selbst kann endseitig als Taster ausgebildet sein oder einen solchen umfassen. Insbesondere kann das Tastelement und/oder die Zielmarke auswechselbar mit der Tastverlängerung wie Schaft verbunden sein.

Um nahezu beliebige Strukturen bestimmen zu können, ist des Weiteren vorgesehen, dass das Tastelement mit dem Schaft und dem optischen System von einer in fünf Freiheitsgraden justierbaren Halterung verstellbar ist. Die Halterung selbst kann wieder-

um mit dem Sensor eine Einheit bilden bzw. mit dem Sensor verbunden sein. Vorzugsweise sind das Testelement und der Schaft ein Lichtleiter, wobei dem Testelement über den Lichtleiter Licht zuführbar ist. Hierbei leuchtet das Testelement, das als Lichtfleck oder Lichtpunkt von dem optischen System erfasst wird. Das Testelement und/oder die wenigstens eine Zielmarke können auch lichtreflektierend ausgebildet sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit, das Testelement und/oder die Zielmarke als selbstleuchtendes Element wie LED auszubilden.

Das optische System, das zur Bestimmung der Auslenkung des Testelements aus seiner Ruhelage und zur Strukturmessung verwendet wird, ist insbesondere eine elektronische Kamera. Die Messung der Auslenkung geschieht insbesondere auch mit einem Fokussystem, wie dies in der optischen Koordinatenmesstechnik bei der Fokussierung auf die Werkstück-oberfläche bereits bekannt ist. Hierbei wird die Kontrastfunktion des Bildes in der elektronischen Kamera ausgewertet.

Zur Strukturbestimmung der Objekte wird die direkte Messung der Testelementposition genutzt. Grundsätzlich kommen für diese direkte Messung viele unterschiedliche physikalische Prinzipien in Frage. Da die Messung der Testelementauslenkung in einem großen Messbereich im Raum sehr genau erfolgen muss, z. B. um kontinuierliche Scanvorgänge zu ermöglichen, und um einen großen Überhub bei Objektantastung aufzunehmen (z. B. aus Sicherheitsgründen, aber auch um den Aufwand für eine genaue Positionierung zu verringern), kann auch ein photogrammetrisches Verfahren eingesetzt werden. Zwei Kamerasysteme mit zueinander geneigten Achsen könnten benutzt werden. Es können im Wesentlichen die aus der Industriephotogrammetrie bekannten Auswertetechniken eingesetzt werden.

Mit zwei z. B. zur Längsrichtung des Testelements bzw. der diesem zugewandten Enden einer Tasterverlängerung wie Schaft geneigt "blickenden" Kameras sind alle Messaufgaben lösbar, bei denen das Testelement nicht hinter Hinterschneidungen "verschwindet". Die Verwendung einer redundanten Anzahl von Kameras (z. B. drei) ermöglicht

auch an Objekten mit steilen Konturen zu messen. Bei der Messung in kleinen Bohrungen kann eine Kamera benutzt werden, die so angeordnet ist, dass sie in Längsrichtung des Tastelements bzw. der Tasterverlängerung auf das Tastelement "blickt". Grundsätzlich ist bei zweidimensionalen Messungen (also z.B. bei Messungen in Bohrungen) eine einzige Kamera ausreichend, die auf die Längsrichtung der das Tastelement haltenden Tasterverlängerung wie Schaft ausgerichtet ist.

Es ist auch erfindungsgemäß möglich, auf dem als Lichtleitfaser ausgebildeten Schaft weitere beleuchtete Kugeln oder sonstige Zielmarken anzubringen, die Position dieser Zielmarken insbesondere photogrammetrisch zu erfassen und die Auslenkung des Tastelements entsprechend zu berechnen. Kugeln stellen dabei vergleichsweise ideale, eindeutige Zielmarken dar, die es auf der Faser ansonsten nicht gibt. Eine gute Lichteinkopplung in die Kugeln erreicht man durch Störung der Lichtleitereigenschaften des Schafts, indem man z. B. die durchbohrten volumenstreuenden Kugeln auf den Schaft, d. h. der Tasterverlängerung aufsteckt und mit diesem verklebt. Auch können die volumenstreuenden Kugeln seitlich am Schaft angeklebt sein, wobei auch eine Lichteinkopplung möglich ist, vorausgesetzt, der Schaft führt bis zu seiner Oberfläche Licht, weist also einen Mantel an der Klebestelle nicht auf. Eine besonders hohe Genauigkeit wird erreicht, wenn die Tastelementposition als Funktion der Faserlage und Faserkrümmung (Zonen der Faser in einem Abstand von dem Tastelement) experimentell erfasst (kalibriert) wird. Auch ist hier wieder die Anmessung von entlang der Faser aufgebrachten Zielmarken anstelle der Abmessung der Faser selbst möglich.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen - für sich und/oder in Kombination -, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispiel.

In der Zeichnung ist schematisch eine Anordnung zur Erfassung der Oberflächentopographie bzw. der Oberflächenstruktur bzw. der Geometrie von Gegenständen bzw.

Objekten dargestellt. Die Anordnung enthält ein Tastelement 10, insbesondere eine lichtdurchlässige Kugel. Das Tastelement 10 ist mit einem Schaft 12, einem Lichteiter, in Form von Lichtleitfasern verbunden. Der Schaft 12 ist in einer steifen Hülle 14 oder Hülse mit einem ersten, nicht näher bezeichneten Abschnitt geführt. Die Hülse 14 fixiert die Lage dieses Abschnitts. Ein zweiter Abschnitt 16 des biegeelastischen Schafts 12 ragt aus der Hülse 14 heraus und trägt an seinem Ende das Tastelement 10. Durch die Länge des Abschnitts 16 wird die wirksame Biegelänge des Schafts 12 bestimmt. Dabei kann durch Verschiebung des Schafts innerhalb der Hülse 14 die Biegelänge gezielt verändert werden. Selbstverständlich kann die Länge des Abschnitts 16 z.B. mess-technisch oder gerätebedingt vorgegeben werden, so dass ein Verstellen nicht notwendig ist.

Die Hülse 14 ist an ihrem dem Abschnitt 16 abgewandten Ende in einem Halter 18 befestigt, der mit einem Gehäuse 20 verbunden ist. Im Gehäuse 20 befindet sich vor dem nicht dargestellten Ende des Schafts 18 eine Optik 22, mit der das von einer Lichtquelle 22 ausgesandte Licht in den Schaft 12 eingespeist wird. Mit dem Gehäuse 24 ist eine Einheit 26 verbunden, die ein nicht näher bezeichnetes optisches System zur Messung der Position des Tastelements 10 enthält. Zur Positionserfassung des Tastelements 10 kann eine Einrichtung verwendet werden, die an sich bekannt ist und auch zur Strukturvermessung eingesetzt wird. Die Position des Tastelements 10 kann mit einem Sensor, z. B. einem elektronischen Bildverarbeitungssystem wie elektronischer Kamera festgestellt werden. Auch kann die Position des Tastelements 10 bei dessen Berührung mit dem Messobjekt durch Auswertung einer Kontrastfunktion des Bildes mittels einer elektronischen Kamera erfasst werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Position des Tastelements 10 bei Berührung mit dem Messobjekt aus einer Größenänderung des Bildes wenigstens einer Zielmarke zu bestimmen, die am Schaft 12 angeordnet ist. Die Größenänderung ergibt sich aus dem strahlenoptischen Zusammenhang zwischen Objekt-Abstand und Vergrößerung.

Die Position des Tastelements 10 lässt sich auch aus der scheinbaren Größenänderung

der Zielmarke ermitteln, die aus dem Kontrastverlust durch Defokussierung entsteht. Dabei wird die Position bei Berührung des Tastelements und des Objekts im Vergleich zur optischen Achse 28 des Bildverarbeitungssystems bzw. der elektronischen Kamera oder alternativ mit einem Photogrammetriesystem bestimmt.

Bei der Berührung zwischen Tastelement 10 und Objekt wirkt zwischen beiden eine Kraft, die einen Einfluss auf die Messergebnisse hat. Um eine genaue Messung zu erreichen, wird diese Antastkraft den Gegebenheiten des Objekts z. B. der Oberflächenhärte, Oberflächenrauhigkeit usw. angepasst. Dazu wird die Antastkraft zuerst gemessen. Die Messung der Antastkraft geschieht durch Erfassung der Auslenkung bzw. Biegung des Abschnitts 16 des Schafts 12. Die Größe der Auslenkung wird durch den Unterschied zwischen der Position des Tastelements 10 in der Ruhelage, die in der Zeichnung dargestellt ist, und der Lage bei Berührung zwischen Tastelement und Objekt bestimmt. Dabei nutzt man den erfindungsgemäßen Gedanken, dass der Schaft 12 über eine definierte Länge nur biegbar ist, nämlich dem Abschnitt 16, der über der Hülse 14 vorsteht.

Die Antastkraft F wird dabei nach folgender Gleichung bestimmt:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

mit l = Länge des Abschnitts 16, d. h. der freien Faser, f = Durchbiegung (Auslenkung des Antastelements 10 aus der Ruhelage), E = Elastizitätsmodul des Schafts 12 bzw. Abschnitts 16 und I = axiales Flächenmoment des Schafts 12 bzw. Abschnitts 16.

Die Ruhelage des Tastelements 10 wird mit dem optischen System der Einheit 26 gemessen. Der Abschnitt 16 und ein Teil 30 der steifen Hülle 14 verlaufen längs der optischen Achse 28. Die Hülle 14 ist abgewinkelt bzw. gebogen. Der andere, nicht

näher bezeichnete abgewinkelte Teil der Hülle 14 ist mit seinem Ende an der Hülse 18 befestigt.

Das Gehäuse 20 mit der Lichtquelle 24 und der Optik 22 ist mit der Einheit 26 auf einem gemeinsamen Träger 32 angeordnet, der nur schematisch dargestellt ist. Der Träger 32 ist wenigstens in den drei Richtungen des kartesischen Koordinatensystems motorisch verstellbar. Vorzugsweise ist der Träger in fünf Freiheitsgraden verstellbar.

Bei der Verstellung des Trägers 32 im Raum, d. h. bei der Änderung der Orientierung der optischen Achse 28 wird die Lage des Tastelements 10 in der Ruheposition, die dieser Lage der Achse im Raum entspricht, durch Berechnung ermittelt.

Berührt das Tastelement 10 eine Objektoberfläche, dann wird mit dem optischen System der Einheit 26 aus der Größe der Auslenkung des Tastelements 10 die Antastkraft nach obiger Gleichung bestimmt.

Da bis auf die Antastkraft und die Auslenkung alle Größen der Gleichung Konstante sind, ist die Antastkraft der Auslenkung proportional, wodurch sich die Antastkraft schnell und einfach bestimmen lässt. Die Auslenkung des Tastelements 10 wird nicht nur in Verbindung mit der räumlichen Stellung des Trägers 32 zur Messung der Oberflächentopologie sondern auch zur Messung der Antastkraft ausgenutzt.

Die Antastkraft kann auf einem Display angezeigt werden. Durch eine Änderung der Stellung des Trägers 32 mittels eines oder mehrerer motorischer Antriebe, die in der Zeichnung symbolisch durch einen einzigen Motor 34 dargestellt sind, kann die Anstellkraft auf gewünschte Werte eingestellt werden.

Die gemessene Antastkraft wird als Istwert der Regelgröße einem Vergleicher in einem Regelkreis zugeführt, dessen Sollwert mittels einer Eingabeeinheit 36 eingestellt wird. Bestandteil des Regelkreises ist ein Rechner 38, der den Istwert der Regelgröße aus der

berechneten Ruhelage des Tastelements 10 im Raum in Bezug auf die jeweilige Lage der optischen Achse im Raum und der gemessenen Auslenkung bestimmt und der an Hand des Sollwertes die Regelabweichung ermittelt. Der Rechner 38 gibt über eine Ansteuersetzung 40 Stellsignale an den Motor 34 aus. Durch die Regelung wird die Antastkraft auf einem gleichbleibenden oder nahezu gleichbleibenden Wert gehalten. Dies hängt vom gewählten Regelalgorithmus ab. Auf diese Weise wird die Antastkraft an die Gegebenheiten des Messobjekts angepasst und während der Messung der Struktur beibehalten. Für die gewählte Höhe der Antastkraft ist die Oberflächentopologie und die Oberflächenhärte des Messobjekts bestimmend.

Das für die Bestimmung der Antastkraft verwendete Tastelement 10 ist das gleiche wie für die Messung der Oberflächentopographie.

Die steife Hülle 14 bzw. Hülse ist vorzugsweise aus Metall.

Die Antastkraft wird bei der Messung von Strukturen an Objekten, die geringe Materialhärten haben bzw. nachgiebige Oberflächeneigenschaften haben, auf geringe Werte eingestellt, wodurch der Einfluss der Antastkraft auf die Messgenauigkeit nur gering ist.

**Patentansprüche****Verfahren und Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts**

1. Verfahren zur Messung von Strukturen eines Objektes mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, wobei das Tastelement mit dem Objekt in Berührung gebracht und sodann seine Position unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem optischen Sensor bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Schaft mit Ausnahme einer freien, das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge innerhalb einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft und dass die nach der Berührung zwischen Tastelement und Objekt auftretende Antastkraft auf Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Antastkraft auf einen an die Gegebenheiten des Objektes angepaßten Wert durch Vorgeben der Biegelänge eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Schaft innerhalb der Führung verschiebbar angeordnet wird.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Antastkraft des Tastelements nach folgender Gleichung bestimmt wird.

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

worin mit F die Antastkraft, mit E der Elastizitätsmodul des Schafts, mit l die freie wirksame Biegelänge des Schafts außerhalb der Führung, mit I das axiale Flächenmoment des Schafts und mit f die Auslenkung des Tastelements aus seiner Ruhelage bezeichnet sind.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Antastkraft als Regelgröße in einem Regelkreis auf einen vorgebbaren, gleichbleibenden oder nahezu gleichbleibenden Wert eingestellt wird und dass die Halterung von wenigstens einem motorischen Antrieb als Stellglied bewegt wird.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Auslenkung des Tastelements mittels eines optischen Sensors gemessen wird, der die Stellung des Tastelements in dessen Ruhelage und die Stellung des Tastelements bei Berührung mit der Oberfläche eines Objekts erfasst.
7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Stellung des Tastelements und/oder der zumindest einen Zielmarke mittels reflektierender und/oder mittels reflektierender und/oder dieses bzw. diese abschaltender und/oder von dem Tastelement abstrahlender Strahlung bestimmt wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Ruhelage des Tastelements in einer vorgegebenen Position des optischen Sensors gemessen wird, dass die Ruhelagen des Tastelements in von diesen Positionen des optischen Sensors abweichenden Positionen aus der vorgegebenen Position und der Lageänderung des optischen Sensors bestimmt werden und dass die Lage des Tastelements bei Berührung mit dem Objekt mit dem optischen Sensor gemessen und die Messwerte für die Struktur des Objekts und die Bestimmung und Auslenkung der Antastkraft verarbeitet werden.
9. Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objektes mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft (16) ausgehenden Tastelement (10), das mit dem Objekt in Berührung bringbar und dessen Position sodann unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem Sensor bestimmbar ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Schaft (12) mit Ausnahme einer freien das Tastelement (10) und/oder der Zielmarke aufweisenden Biegelänge (16) innerhalb einer starren oder im wesentlichen einer starren Führung (30) verläuft.
10. Anordnung nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Sensor zur Messung der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage vorgesehen ist, dass das Tastelement und der elastische Schaft zusammen mit der Führung (30) mit wenigstens einem motorischen Antrieb (34) relativ zur Oberfläche des zu messenden Objektes bewegbar sind und dass mit einer Auswerteeinheit aus der Größe der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus der Ruhelage die Antastkraft bestimmbar ist.

11. Anordnung nach zumindest Anspruch 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Anordnung die Antastkraft aus dem Wert der Größe der Auslenkung  
nach folgender Gleichung bestimmt wird:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3},$$

worin mit F die Antastkraft, mit f die Größe der Auslenkung aus der Ruhelage,  
mit l die Länge des elastischen Schafts (12) zwischen dem Tastelement (10) und  
einer starren Hülse (30), mit E der Elastizitätsmodul des Schafts (12) und mit I  
das axiale Flächenmoment des Schafts (12) bezeichnet sind.

12. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass ein optisches System zur Erfassung der Auslenkung des Tastelements (10)  
oder der wenigstens einen Zielmarke aus der Ruhelage vorgesehen und zu-  
mindest mit dem Tastelement (10) und dem Schaft (12) als Einheit bewegbar ist.
13. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das optische System zum Erfassen der Auslenkung des Tastelements in  
einem Regelkreis angeordnet ist, dessen Regelgröße die Antastkraft ist und der  
als Stellglied wenigstens einen motorischen Antrieb für die Bewegung der das  
Tastelement, den Schaft und den Sensor enthaltenden Einheit aufweist.
14. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das Tastelement (10) mit dem Schaft (12) und dem optischen System von

einer in fünf Freiheitsgraden bewegbaren Halterung verstellbar ist.

15. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Tastelement (10) und der Schaft (12) Lichtleiter sind und dass dem Tastelement (10) über den Lichtleiter Licht zuführbar ist.
16. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische System zur Bestimmung der Auslenkung des Tastelements (10) eine elektronische Kamera oder ein Fokussystem ist.
17. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische System zur Erfassung der Auslenkung des Tastlements (10) aus der Ruhelage auch für die Messung der Struktur des Objekts vorgesehen ist.
18. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rechner für die Berechnung der Position des Tastlements in Bezug auf die Lage des optischen Systems bei der Messung der Ruhelage des Tastlements und bei Änderung der Lage des optischen Systems im Raum vorgesehen ist.
19. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaft (12) in einer starren Führung wie Hülse (14) geführt bzw. aufgenommen ist und dass die wirksame Biegelänge des Schafts durch seinen vorderen außerhalb der Führung verlaufenden das Tastelement (10) aufweisenden Abschnitt (16) bestimmt ist.

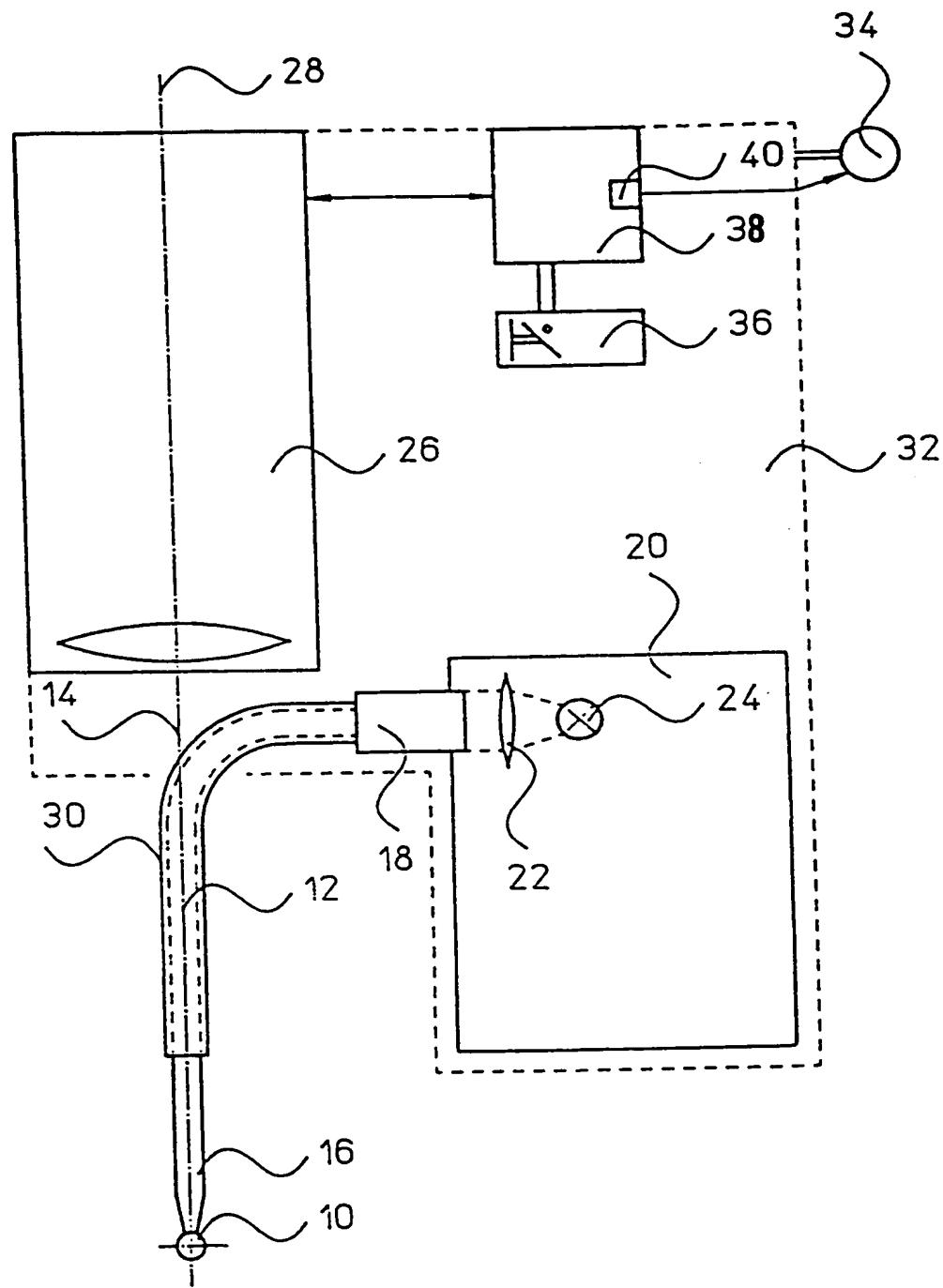
20. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass der Schaft (12) innerhalb der Führung (14) verschiebbar angeordnet ist.

**GEÄNDERTE ANSPRÜCHE**

[beim Internationalen Büro am 04. Oktober 1999 (04.10.99.) eingegangen;  
neuer Anspruch 1 ersetzt ursprünglichen Anspruch 1; alle anderen Ansprüche  
bleiben unverändert (1 Seite)]

1. Verfahren zur Messung von Strukturen eines Objektes mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, wobei das Tastelement mit dem Objekt in Berührung gebracht und sodann seine Position unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem optischen Sensor bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Schaft mit Ausnahme einer freien, das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge innerhalb einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft und dass die nach der Berührung zwischen Tastelement und Objekt auftretende Antastkraft aus Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage mittels des optischen Sensors durch Messung der Position des Tastelements und/oder der Zielmarke bestimmt wird.

**GEÄNDERTES BLATT (ARTIKEL 19)**



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 99/02570

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 G01B11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 97 03346 A (RENISHAW PLC) 30 January 1997 (1997-01-30)	1,5-8
A	page 3, line 9 - page 3, line 32; figure 2 page 6, line 33 - page 7, line 25; figure 4	2,9,10, 12-18
A	US 5 144 150 A (KEIICHI YOSHIZUMI, KEISHI KUBO) 1 September 1992 (1992-09-01) See the whole document figures 1,4,5	1,4-18



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

**Special categories of cited documents:**

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 August 1999

Date of mailing of the international search report

12/08/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visser, F

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

## Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/02570

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
WO 9703346	A 30-01-1997	NONE			
US 5144150	A 01-09-1992	JP	2661314 B	08-10-1997	
		JP	3255907 A	14-11-1991	
		KR	9403918 B	09-05-1994	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In nationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/02570

## A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 G01B11/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 97 03346 A (RENISHAW PLC) 30. Januar 1997 (1997-01-30)	1,5-8
A	Seite 3, Zeile 9 - Seite 3, Zeile 32; Abbildung 2 Seite 6, Zeile 33 - Seite 7, Zeile 25; Abbildung 4 ---	2,9,10, 12-18
A	US 5 144 150 A (KEIICHI YOSHIZUMI, KEISHI KUBO) 1. September 1992 (1992-09-01) siehe die gesamte Druckschrift; Abbildungen 1,4,5 -----	1,4-18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. August 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/08/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Visser, F

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In: Nationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/02570

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
WO 9703346 A	30-01-1997	KEINE			
US 5144150 A	01-09-1992	JP	2661314 B	08-10-1997	
		JP	3255907 A	14-11-1991	
		KR	9403918 B	09-05-1994	